GRAVITACIONI TRANSPORTERI

- Kada između mesta utovara i mesta istovara postoji visinska razlika, umesto da se koristi neki oblik mehaničke energije najpogodije je da se za promenu prostornih koordinata materijala iskoristi sila gravitacije.
- Gravitacioni transporteri se izvode ili sa pravolinijskom ili sa prostornom (spiralnom) putanjom.
- Regulacija brzine se vrši preko sile otpora koja se suprotstavlja kretanju i neophodna je jer slobodno kretanje nije pogodno za tehničku upotrebu zbog opasnosti od oštećenja robe. (U pretovarnim procesima u kojima se kao deo sistema javlja čovek, preporučuje se da brzina tereta ne prelazi 1m/s, a u sistemima u kojima se ne javlja čovek preporučuje se da brzina ne prelazi 1.5 m/s. Razlozi za ovo ograničenje su smanjenje mogućnost povrede, kako čoveka tako i robe koja se transportuje.).
- Kod kliznica, kretanju tereta se suprotstavlja sila trenja klizanja između materijala koji se transportuje kliznicom i materijala od koga je napravljen oluk kliznice.
- Kod valjkastih transportera kretanju se suprotstavlja sila trenja kotrljanja tereta preko valjaka i sila trenja u ležajima valjaka.
- Prema načinu rada i obliku, gravitacioni transporteri se klasifikuju na:
  - Pravolinijske kliznice (klizni kanali)
  - Spiralne kliznice
  - Gravitacione vertikalne cevi
  - Pneumatske kliznice
  - Valjkasti transporteri

TRANSPORTNI KAPACITET

Transportni kapacitet kliznice se određuje u zavisnosti od toga da li se radi o transportu komadnog ili rasutog tereta:
KOMADNI TERET

$Q_k = 3600 \cdot \frac{v}{l} \quad [kom/h]$, pri čemu je v srednja brzina kretanja tereta po kliznici, i dobija se kao $v = \frac{v_o + v_k}{2}$

RASUTI TERET

$Q_t = 3600 \cdot F \cdot v \cdot \psi_p \cdot \gamma_m \qquad [kN/h]$

ODREĐIVANJE NAGIBA KLIZNICE I BRZINE TERETA

Pri spuštanju materijala niz kliznicu potencijalna energija, koju telo ima na početku kliznice se transformiše u kinetičku energiju tela i u rad sile trenja između tela i oluka kliznice. Ako znamo visinsku razliku transporta h=l·sinδ, izjednačavanjem energija možemo da odredimo nagib kliznice ili brzinu tereta na kraju iste.

$$m \cdot g \cdot h = m \cdot \frac{v_k^2 - v_0^2}{2} + m \cdot g \cdot \cos\delta \cdot l \cdot \mu_r$$

$$m \cdot g \cdot h = m \cdot \frac{v_k^2 - v_0^2}{2} + m \cdot g \cdot \cos\delta \cdot \frac{h}{\sin\delta} \cdot \mu_r$$

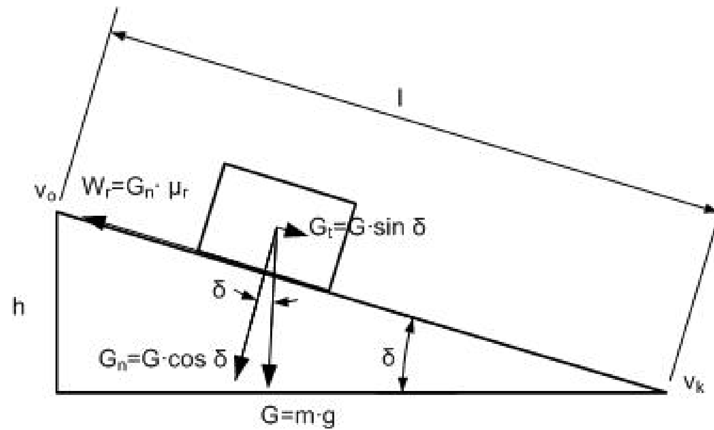
$$g \cdot h = \frac{v_k^2 - v_0^2}{2} + g \cdot \frac{h}{tg\delta} \cdot \mu_r \qquad \Rightarrow \qquad v_k = \sqrt{v_0^2 + 2 \cdot g \cdot h \cdot (1 - \mu_r \cdot ctg\delta)}$$

$$tg\delta = \frac{2 \cdot g \cdot h \cdot \mu_r}{2 \cdot g \cdot h - (v_k^2 - v_0^2)}$$

Kod spiralne kliznice je, pri proračunu, umesto normalne komponente G_N=G·sinδ, potrebno u obzir uzeti rezultujuću silu koja se dobija kao vektorski zbir centrifugalne sile i normalne komponente G_N, $\vec{R}_N = \vec{C} + \vec{G}_N$
Kako je kod spiralne kliznice korak $h_s = D_i \cdot \pi \cdot \tan\delta_i = D \cdot \pi \cdot \tan\delta = D_a \cdot \pi \cdot \tan\delta_a = const$, i kako je $D_i < D < D_a$, onda mora da je zadovoljeno da $tg\delta_i > tg\delta > tg\delta_a$, odnosno da je $\delta_i > \delta > \delta_a$

KLIZNICE

Zadatak 1. Koncepcijom pretovarnog procesa predviđeno je da se paketi težine 60N spuštaju gravitacionom kliznicom koja savlađuje visinsku razliku od 3m. Početna brzina tereta iznosi 0.5 m/s. Tehnološki proces zahteva ostvarenje proizvodnosti od 1500 kom/h. Pronaći dužinu i nagib kliznice ako je poznato da je koeficijent trenja između paketa i površine kliznog kanala μ_r=0.8 a razmak između kutija a= 1m.



Rešenje

G= 60N

h= 3m

Q_k= 1500 kom/h

μ_r= 0.8

$a = 1m$

$$m\cdot\frac{v_k^2 - v_0^2}{2} = mg\cdot l\cdot\sin\delta - mg\cdot\mu_r\cdot l\cdot\cos\delta$$

$$\frac{v_k^2 - v_0^2}{2} = g\cdot l\cdot(\sin\delta - \mu_r\cdot\cos\delta)\ \text{kako je}\ l = \frac{h}{\sin\delta}\ \ \text{to sledi}$$

$$\frac{v_k^2 - v_0^2}{2} = g\cdot h\cdot(1 - \mu_r\cdot ctg\delta) \qquad (1)$$

$$Q_k = 3600\frac{v_{sr}}{a} \ \Rightarrow\ v_{sr} = \frac{Q_k\cdot a}{3600} = \frac{1500\cdot 1}{3600} = 0.42\, m/s$$

$$v_{sr} = \frac{v_k - v_0}{2} \ \Rightarrow\ v_k = 2v_{sr} - v_0 \ \Rightarrow\ v_k = 0.34\frac{m}{s}$$

$$\text{iz (1)}\ \ \mu_r\cdot ctg\delta = 1 - \frac{v_k^2 - v_0^2}{2\,g\,h}\ \ \text{tj.}\ \ tg\delta = \frac{\mu_r}{1 - \frac{v_k^2 - v_0^2}{2\,g\,h}}$$

$$\delta = arctg\left(\frac{\mu_r}{1 - \frac{v_k^2 - v_0^2}{2\,g\,h}}\right) = arctg\left(\frac{0.8}{1 - \frac{0.34^2 - 0.5^2}{2\cdot 9.81\cdot 3}}\right) = arctg\ 0.7981 = 38.6^\circ$$

$$\boxed{\delta = 38^\circ 35' 46''}$$

$$l = \frac{h}{\sin\delta} = \frac{3}{\sin 38.6^\circ} = 4.81\,m \qquad \boxed{l = 4.81\,m}$$

Zadatak 2. Punjenje bunkera za proizvodnju šljunka obavlja se kliznim kanalom. Neophodno je ostvariti proizvodnost od 9000 t/h. Konfiguracija terena zahteva visinsku razliku od 5m. Pronaći dužinu kliznice ako su poznate sledeće veličine:

- $F=0.5\ m^2$ (površina poprečnog preseka)
- γ = 1.667 t/m3 (specifična zapreminska masa)
- v_0=0.2 m/s (brzina na početku kliznice)
- μ_r=0.8 (koeficijent trenja)

Rešenje

Q_t = 9000 t/h
h = 5m

$$Q_t = 3600 \cdot F \cdot v \cdot \gamma \quad \Rightarrow \quad v = \frac{Q_t}{3600 \cdot F \cdot \gamma} = \frac{9000}{3600 \cdot 1.667 \cdot 0.5} = 3\frac{m}{s}$$

$$v = \frac{v_k + v_0}{2} \quad \Rightarrow \quad v_k = 2\,v - v_0 \quad \Rightarrow \quad v_k = 5.8\frac{m}{s}$$

Iz prethodnog zadatka je

$$\delta = arctg\left(\frac{\mu_r}{1-\frac{v_k^2 - v_0^2}{2\,g\,h}}\right) = arctg\left(\frac{0.8}{1-\frac{5.8^2 - 0.2^2}{2 \cdot 9.81 \cdot 5}}\right) = arctg\,1.217 = 50.6^\circ \qquad \delta = 50^\circ 34' 48''$$

$$l = \frac{h}{\sin\delta} = \frac{5}{\sin 50.6^\circ} = 6.47m \qquad \boxed{l = 6.47m}$$

VALJKASTI GRAVITACIONI TRANSPORTERI

- Valjkasti gravitacioni transporteri se koriste za transport komadne robe prizmatičnog oblika, burića i profila, a mogu se koristiti i za transport rasute robe smeštene u odgovarajuće posude, kao i komada nepravilnih oblika kada se postave na postolje ili u kontener.
- Za razliku od kliznica, kod kojih se pri kretnju tereta javlja otpor trenja klizanja, kod valjkastih transportera se pri kretaju tereta javlja otpor kotrljanja i otpor trenja u ležajevima valjaka. Ova činjenica ujedno predstavlja i osnovnu prednost valjkastih transportera u odnosu na kliznice, jer su otpori kod valjkastih transportera znatno maniji nego kod kliznica. U skladu sa tim nagib putanje valjkastih transportera je neuporedivo manji i kreće se od 1 do 7% (0,6º do 4º)
- Regulacija brzine tereta kod valjkastih transportera se, osim regulisanjem nagiba transportera, može vršiti i ugradnjom kočionih valjaka (prilikom prelaska tereta preko ovih valjaka dolazi do njegovog usporavanja) koji se postavljaju na kritičnim delovima putanje. Kočenje može biti izvedeno kao direktno (preko kočionih valjaka) i kao indirektno (prenosom kočione sile sa kočionih valjaka na obične valjke).

TRANSPORTNI KAPACITET VALJKASTOG TRANSPORTERA

Transportni kapacitet valjkastog gravitacionog transportera se određuje po analogiji sa kapacitetom kliznice.

ODREĐIVANJE NAGIBA TRANSPORTERA I BRZINE TERETA

$$m \cdot g \cdot h = m \cdot \frac{v_k^2 - v_0^2}{2} + m \cdot g \cdot \cos\delta \cdot l \cdot \omega_r$$

Kao i u slučaju kliznica i kod valjkastih transportera, pri kretanju tereta duž istih, dolazi do transformacije potencijalne energije koju telo ima na vrhu transportera u kinetičku energiju tela i rad sila otpora koji se javljaju duž transportera. U skladu sa tom činjenicom, izrazi koji važe za definisanje brzine i nagiba kod kliznica važe i u ovom slučaju, pri čemu u obzir treba uzeti otpore koji karakterišu kretanje tereta duž valjkastih transportera. Otpori koji se javljaju pri nailasku tereta na jedan valjak su:

Otpor ustaljenog kretanja (kotrljanje i trenje u ležajima)

Dobija se pomoću jednačine

$$W_C' = \frac{2 \cdot G_t \cdot \cos\delta \cdot f_R}{d_t} + \frac{(G_t + n_1 \cdot G_o) \cdot \mu_z \cdot d_z}{d_t} \qquad [N]$$

Međutim, kako se valjkasti transporteri koriste za uglove nagiba koji su izuzetno mali (kao što je rečeno ranije od 1 do 7%) to se vrši pojednostavljenje prethodne jednačine tako što se za kosinus ugla nagiba usvaja da je jedan (kosinus malih uglova je približno 1), pa jednačina glasi

$$W_C' = \frac{2 \cdot G_t \cdot f_R}{d_t} + \frac{(G_t + n_1 \cdot G_o) \cdot \mu_z \cdot d_z}{d_t} \qquad [N]$$

G_t – težina jedinice tereta na valjkastom transporteru [N]
f_R – krak otpora kotrljanja [cm]
d_T – prečnik valjka [cm]
n_1 – broj jednovremeno opterećenih valjaka
G_o – težina obrtnog dela valjka [N]
μ_z – koeficijent trenja u ležaju
d_z – efektivni prečnik valjka [cm]

Otpor ubrzanja (inercija)

Javlja se pri velikim uglovima nagiba δ

$$W_{in} = G_t \cdot \frac{v_k - v_0}{g \cdot t} \qquad [N]$$

t – period opservacije [s]
Međutim, kako se valjkasti transporteri koriste za transport pod malim uglovima, to se ovaj otpor pri proračunu zanemaruje.

Otpor ubrzanja rotacionih masa (klizanje i izgubljena kinetička energija)

$$W_{rot} = \frac{k_2 \cdot G_o \cdot v^2}{2 \cdot g \cdot l_o} \qquad [N]$$

k_2 – faktor kojim se izražava odnos mase dela valjka koji rotira i ukupne težine valjka
v – srednja brzina kretanja tereta po transporteru [m/s]
l_o – rastojanje između valjaka [m]

Ukupan koeficijent otpora -ω se dobija u zavisnosti od režima kretanja tereta po transporteru:

I SLUČAJ - komadi tereta se kreću u gustom toku, tako da se valjci stalno nalaze u stanju rotacije

$\omega = \frac{W_C' + W_{in}}{G_t}$, odnosno, zbog zanemarivanja otpora ubrzanja $\boxed{\omega = \frac{W_C'}{G_t}}$

II SLUČAJ – rastojanja između pojedinih paketa su velika i različita, tako da zbog dejstva otpora u ležajevima valjaka, dolazi do zaustavljanja valjaka.

$\omega = \frac{W_C' + W_{in} + 2 \cdot W_{rot}}{G_t}$, odnosno, zbog zanemarivanja otpora ubrzanja $\boxed{\omega = \frac{W_C' + 2 \cdot W_{rot}}{G_t}}$

VALJKASTI TRANSPORTERI

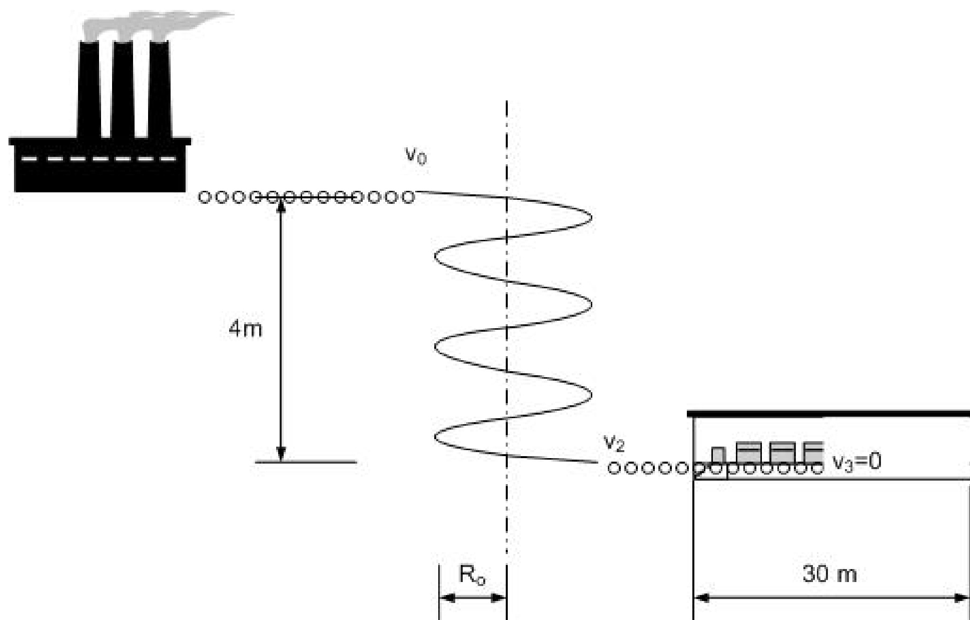
Zadatak 3. Na završetku procesa proizvodnje postavljen je valjkasti transporter. Njime se transportuju proizvodi upakovani u kutije težine 200N, do spiralnog valjkastog transportera, a zatim se horizontalnim valjkastim transporterom transportuju do skladišta. Visinska razlika proizvodne hale i skladišta je 4m. Dužina skladišta je 30m. Izračunati:

a) ugao nagiba spiralnog transportera i njegov poluprečnik, pod uslovom da brzina tereta na spiralnom transporteru ne bude veća od 1,5 m/s. Početna brzina tereta je 0,5 m/s, a rastojanje između valjaka 0,2 m.

b) dužinu transporta kroz skladište za koji će biti potreban poseban pogon, pod uslovom da je valjkasti transporter u skladištu horizontalan i da se roba transportuje do sredine skladišta.

Poznati su i sledeći podaci:

- Prečnik valjka-d_t je 5 cm
- Dimenzije tereta su (šxvxd) 0,3x0,1x0,5 m
- Težina valjka-G_0 je 12 N
- Prečnik osovinice valjka-d_z je 0.5 cm
- Odnos mase rotirajućeg dela valjka prema ukupnoj masi valjka-k_2 je 0.9
- Broj koraka spirale-n_2 je tri.



Rešenje

a) Radi jednostavnijeg proračuna uticaj centrifugalne sile se zanemaruje.

$$m \cdot \frac{v_k^2 - v_0^2}{2} = mg \cdot l \cdot (\sin\delta - \omega \cdot \cos\delta)$$

$$\omega = \frac{W_C' + W_{in} + 2W_{rot}}{G}$$

kako se W_{in} računa samo u slučaju kad je δ na početku transportera veliko, to ga u ovom slučaju zanemarujemo, pa su otpori koji se javljaju pri kretanju tereta niz transporter

$$\omega = \frac{W_C' + 2W_{rot}}{G}$$

Otpor ustaljenog kretanja – W_C'

$$W_C' = \frac{2\,G\,f_r}{d_t} + \frac{(G + n_1 G_0)\mu_z d_z}{d_t} = \frac{2 \cdot 200N \cdot 1mm}{50mm} + \frac{(200N + 3 \cdot 12N) \cdot 0.005 \cdot 5mm}{50mm} = 8 + 0.118 = 8.118N$$

- za krak otpora kotrljanja f_r je usvojena vrednost od 1mm
- za koeficijent trenja u ležajima valjaka μ_z je usvojena vrednost 0,005
- broj istovremeno opterećenih valjaka (n_1=3) je uzet za položaj tereta koji omogućava najveću stabilnost pri transportu, tj. kada se teret oslanja na transporter stranicom čije su dimenzije 0,3x0,5m.

Otpor ubrzanja rotacionih masa – W_{rot}

$$W_{rot} = \frac{k_2 \cdot G_0 \cdot v^2}{2 \cdot g \cdot l_0} = \frac{0.9 \cdot 12N \cdot \left(\frac{1.5\, m/s + 0.5\, m/s}{2}\right)^2}{2 \cdot 9.81\, m/s^2 \cdot 0.2m} = 2.75N$$

pa je ukupan koeficijent otpora

$$\omega = \frac{8.118N + 2 \cdot 2.75N}{200N} = 0.0681$$

Iz početne jednačine uz smenu l=h/sinδ dobijamo da je

$$\frac{v_k^2 - v_0^2}{2} = g \cdot \frac{h}{\sin\delta}(\sin\delta - \omega\cos\delta) \quad \Rightarrow \quad \frac{v_k^2 - v_0^2}{2 \cdot g \cdot h} = (1 - \omega\, ctg\delta)$$

odnosno da je

$$\delta = arctg\, \frac{2gh\omega}{2gh - v_k^2 + v_k^2}$$

Odavde je

$$\delta = arctg\, \frac{2 \cdot 9.81\, m/s^2 \cdot 4m \cdot 0.0681}{2 \cdot 9.81\, m/s^2 \cdot 4m - (1.5\, m/s)^2 + (0.5\, m/s)^2} = arctg\, 0.0698 \approx 4^\circ$$

$$\delta = 4^\circ$$

$$tg\delta = \frac{h}{2 \cdot \pi \cdot R_0 \cdot n_2} \quad \Rightarrow \quad R_0 = \frac{h}{2 \cdot \pi \cdot n_2 \cdot tg\delta} = \frac{4m}{2 \cdot \pi \cdot 3 \cdot tg\, 4^\circ} = 3.03\, m$$

$$R_0 = 3.03\, m$$

b)Iz

$$m \cdot \frac{v_k^2 - v_0^2}{2} = mg \cdot l \cdot (\sin\delta - w \cdot \cos\delta)$$

za v_k=0 i δ=0 dobijamo

$$\frac{v_0^2}{2} = g \cdot l \cdot \omega \ \text{ tj. } \ l = \frac{v_0^2}{2 \cdot g \cdot \omega}$$

$$\omega = \frac{W_C' + 2W_{rot}}{G}$$

Otpor ustaljenog kretanja – W_C'

$$W_C' = \frac{2\, G\, f_r}{d_t} + \frac{(G + n_1 G_0)\mu_z d_z}{d_t} = \frac{2 \cdot 200N \cdot 1mm}{50mm} + \frac{(200N + 3 \cdot 12N) \cdot 0.005 \cdot 5mm}{50mm} = 8 + 0.118 = 8.118N$$

Otpor ubrzanja rotacionih masa – W_{rot}

$$W_{rot} = \frac{k_2 \cdot G_0 \cdot v^2}{2 \cdot g \cdot l_0} = \frac{0.9 \cdot 12N \cdot \left(\frac{1.5\, m/s + 0}{2}\right)^2}{2 \cdot 9.81\, m/s^2 \cdot 0.2m} = 1.55N$$

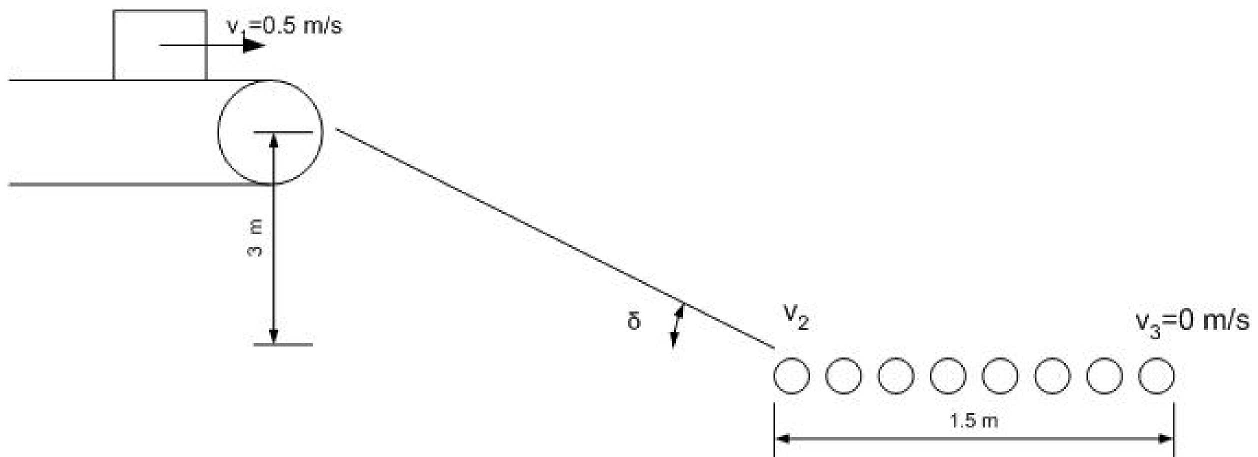
$$\omega = \frac{8.118N + 2 \cdot 1.55N}{200N} = 0.05609$$

$$l = \frac{(1.5\, m/s)^2}{2 \cdot 9.81\, m/s^2 \cdot 0.05609} = 2.0445m$$

$$l_p = L/2 - l = 15m - 2.0445m = 12.955m \qquad l_p = 12.955m$$

Zadatak 4. Trakastim transporterom se kutije težine 60N upućuju na gravitacionu kliznicu koja savlađuje visinsku razliku od tri metra. Brzina kretanja trakastog transportera je 0.5 m/s. Na kraju gravitacione kliznice postavljen je horizontalni valjkasti transporter dužine 1.5m, na čijem je kraju potrebno da se paketi zaustave. Odrediti ugao nagiba gravitacione kliznice ako su poznati sledeći elementi:

- krak otpora kotrljanja f_r = 1mm
- koeficijent trenja u ležajima valjaka μ_z = 0.01
- prečnik valjka valjkastog transportera d_t=5cm
- efektivni prečnik valjka d_z=0.5cm
- broj valjaka na koje se istovremeno oslanja paket n_1=2
- težina obtnog dela valjka G_0=10N
- rastojanje valjaka l_0=0.25m
- Odnos mase rotirajućeg dela valjka prema ukupnoj masi valjka k_2=0.8
- koeficijent trenja u kliznom kanalu μ_r=0.48



Rešenje

Iz

$$m \cdot \frac{v_k^2 - v_2^2}{2} = mg \cdot l \cdot (\sin\delta - \omega \cdot \cos\delta)$$

za v_k=0 i δ=0 dobijamo

$$\frac{v_2^2}{2} = g \cdot l \cdot \omega$$

tj.

$$v_2^2 = 2 g\, l\, \omega \qquad (1)$$

$$w = \frac{W_C' + 2W_{rot}}{G}$$

Otpor ustaljenog kretanja – W_C'

$$W_C' = \frac{2\,G\,f_r}{d_t} + \frac{(G + n_1 G_0)\mu_z d_z}{d_t} = \frac{2 \cdot 60N \cdot 1mm}{50mm} + \frac{(60N + 2 \cdot 10N) \cdot 0.01 \cdot 5mm}{50mm} = 2.4N + 0.08N = 2.48N$$

Otpor ubrzanja rotacionih masa – W_{rot}

$$W_{rot} = \frac{k_2 \cdot G_0 \cdot v^2}{2 \cdot g \cdot l_0} = \frac{0.8 \cdot 10N \cdot (\frac{v_2}{2})^2}{2 \cdot 9.81 m/s^2 \cdot 0.25m} = 0.41 v_2^2$$

$$\omega = \frac{2.48N + 2 \cdot 0.41 v_2^2}{60N} = 0.041 + 0.014 v_2^2$$

Iz (1) dobijamo da je

$$v_2^2 = 29.43\ \omega = 1.21 + 0.41 v_2^2$$

$$0.59 v_2^2 - 1.21 = 0 \quad \Rightarrow \quad v_2^2 = \frac{1.21}{0.59} = 2.05 \quad \Rightarrow \quad v_2 = 1.43\ m/s$$

Za kliznicu važi:

$$\frac{v_2^2 - v_0^2}{2} = g \cdot l \cdot (\sin\delta - \mu_r \cdot \cos\delta) \quad \text{tj.}$$

$$\frac{v_2^2 - v_0^2}{2} = g \cdot h \cdot (1 - \mu_r \cdot ctg\delta)$$

$$\frac{(1.43\,{}^{m}\!/\!{}_{s})^2 - (0.5\,{}^{m}\!/\!{}_{s})^2}{2} = 9.81\,{}^{m}\!/\!{}_{s^2} \cdot 3m \cdot (1 - 0.48\;ctg\delta) \quad \Rightarrow \quad 0.48\;ctg\delta = 0.969 \quad \Rightarrow \quad ctg\delta = 2.02$$

$$tg\delta = \frac{1}{ctg\delta} = 0.495 \quad \Rightarrow \quad \delta = arctg\;0.495 = 26.34^\circ$$

$$\boxed{\delta = 26^\circ 20' 24''}$$

Zadatak 5 Deo sistema za sortiranje realizovan je primenom kliznog kanala dužine 20m, postavljenog pod nagibom od 20°. Kliznim kanalom transportuju se kutije težine 150N pri čemu je koeficijent trenja 0.35. Razmak kutija je 1.2m, a njihova početna brzina je 0.1 m/s. Ako se za sortiranje umesto kliznog kanala koristi valjkasti gravitacioni transporter iste dužine, odrediti potreban nagib za obezbeđenje iste proizvodnosti. Početna brzina tereta je ista, kao i razmak između kutija.

Ostali podaci:

- efektivni prečnik valjka, d_z=1cm
- prečnik valjka, d_t=6cm
- odnos rotirajućeg dela prema ukupnoj težini, k_2=0.9
- težina valjka, G_0=25N
- broj jednovremeno opterećenih valjaka, n_1=3
- razmak valjaka, l_0=0.2m
- krak otpora kotrljanja f_r = 1mm
- koeficijent trenja u ležajima valjaka μ_z = 0.01

Rešenje

KLIZNICA

$$Q = 3600 \cdot \frac{v}{l} \qquad v = \frac{v_0 + v_k}{2}$$

$$h = l \cdot \sin\delta = 20 \cdot \sin 20^\circ = 6.84\,m$$

$$v_k = \sqrt{v_0^2 + 2\,g\,h\,(1 - \mu_r ctg\,\delta)} = \sqrt{(0.1\,m/s)^2 + 2 \cdot 9.81\,m/s^2 \cdot 6.84m \cdot (1 - 0.35 \cdot ctg20^\circ)} = 2.3\,m/s$$

$$v = \frac{0.1 + 2.3}{2} = 1.2\,m/s$$

$$Q = 3600 \cdot \frac{1.2\,m/s}{1.2m} = 3600\,kom/h$$

VALJKASTI TRANSPORTER

v i v_k imaju iste vrednosti kao kod kliznice tj. v=1.2 m/s, a v_k=2.3 m/s.

$$\not{m} \cdot \frac{v_k^2 - v_0^2}{2} = \not{m} g \cdot l \cdot (\sin\delta - w \cdot \cos\delta)$$

$$\omega = \frac{W_C' + 2W_{rot}}{G}$$

Otpor ustaljenog kretanja – W_C'

$$W_C' = \frac{2\,G\,f_r}{d_t} + \frac{(G + n_1 G_0)\mu_z d_z}{d_t}$$

$$W_C' = \frac{2 \cdot 150N \cdot 1mm}{60mm} + \frac{(150N + 3 \cdot 25N) \cdot 0.01 \cdot 10}{60mm} = 5N + 0.375N = 5.375N$$

Otpor ubrzanja rotacionih masa – W_{rot}

$$W_{rot} = \frac{k_2 \cdot G_0 \cdot v^2}{2 \cdot g \cdot l_0}$$

$$W_{rot} = \frac{0.9 \cdot 25N \cdot (1.2\,m/s)^2}{2 \cdot 9.81\,m/s^2 \cdot 0.2m} = 8.26N$$

$$\omega = \frac{5.375N + 2 \cdot 8.26N}{150N} = 0.146$$

$$\frac{v_k^2 - v_0^2}{2} = g \cdot l \cdot (\sin\delta - \omega \cdot \cos\delta) \quad \text{tj.}$$

$$\frac{v_k^2 - v_0^2}{2} = g \cdot h \cdot (1 - \omega \cdot ctg\delta) \quad \Rightarrow \quad tg\delta = \frac{2 \cdot g \cdot h \cdot \omega}{2 \cdot g \cdot h - v_k^2 + v_0^2}$$

odnosno kako je uslov zadatka da je l=const=20m to je

$$tg\delta = \frac{2 \cdot g \cdot l \cdot \sin\delta \cdot \omega}{2 \cdot g \cdot l \cdot \sin\delta - v_k^2 + v_0^2} \quad \Leftrightarrow \quad \frac{\sin\delta}{\cos\delta} = \frac{57.29\sin\delta}{392.4\sin\delta - 5.28}$$

$392.4\sin^2\delta - 5.28\sin\delta = 57.29\sin\delta\cos\delta \quad / : \sin\delta$

$392.4\sin\delta - 5.28 = 57.29\cos\delta \quad \Leftrightarrow \quad 392.4\sin\delta = 57.29\cos\delta + 5.28$

Kako je

$\sin\delta = \pm\sqrt{1-\cos^2\delta}$

to je

$392.4\sqrt{1-\cos^2\delta} = 57.29\cos\delta + 5.28 \quad /^2$

$153977.76 - 153977.76\cos^2\delta = 3282.14\cos^2\delta + 604.98\cos\delta + 27.88$

$157259.9\cos^2\delta + 604.98\cos\delta - 153949.88 = 0$

Uz smenu $\cos\delta = x$ i primenu formula za rešavanje kvadratne jednačine dobija se

$$x_{1,2} = \frac{-604.98 \pm 311192.76}{314519.8} \quad \Rightarrow \quad x_1 = 0.987499 \quad x_2 = -0.991345$$

Međutim kako bi se primenom vrednosti x_2 dobili uglovi koji su oko 180° to x_2 odbacujemo i rešavamo jednačinu

$\cos\delta = 0.987499$

za koju se dobijaju dva rešenja

$\delta_1 = 9.07^\circ$

$\delta_2 = -9.07^\circ$

Pri čemu usvajamo pozitivnu vrednost kao rešenje zadatka, tj. $\delta = 9.07^\circ$.